

TEORES DE ÁGUA NO SOLO E EFICÁCIA DO HERBICIDA FOMESAFEN NO CONTROLE DE *Amaranthus hybridus*¹

Soil Water Contents and Fomesafen Efficacy in Controlling Amaranthus hybridus

ZANATTA, J.F.², PROCÓPIO, S.O.³, MANICA, R.⁴, PAULETTO, E.A.⁵, CARGNELUTTI FILHO, A.⁶, VARGAS, L.⁷, SGANZERLA, D.C.⁴, ROSENTHAL, M.D.⁸ e PINTO, J.J.O.⁹

RESUMO - Com os objetivos de avaliar a eficácia do herbicida fomesafen no controle de plantas de *Amaranthus hybridus* se desenvolvendo em solo com diferentes teores de água e determinar qual o menor teor de água do solo que não prejudica a ação desse herbicida no controle dessa espécie, foi realizado um experimento em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 5 x 5, envolvendo cinco intervalos entre a última irrigação e a aplicação do herbicida (0, 6, 12, 24 e 48 horas) e cinco doses de fomesafen (0,0, 62,5, 125,0, 250,0 e 375,0 g ha⁻¹). Quando as plantas atingiram estágio de quatro pares de folhas, foram aplicados 10 mm de chuva simulada, conforme tratamento previsto. Ao término do período de simulação de chuva, aplicou-se o herbicida utilizando pulverizador costal pressurizado com CO₂, com volume de calda de 120 L ha⁻¹. Aos 5, 22, 29 e 43 dias após a aplicação (DAA) do herbicida, foi avaliado o controle (por escala visual) de *A. hybridus* e, aos 43 DAA, foram avaliadas também a massa seca das raízes e a da parte aérea. A aplicação de 375,0 g ha⁻¹ de fomesafen proporcionou controle satisfatório de *A. hybridus*, independentemente do intervalo entre a última irrigação e a aplicação do herbicida ou do teor de umidade do solo, dentro da faixa avaliada. Pulverizações de 250,0 g ha⁻¹ de fomesafen a intervalos menores que 24 horas entre a última irrigação e sua aplicação e/ou em solo com teor de água maior que 0,12 cm³ cm⁻³ não afetaram a eficácia do herbicida sobre *A. hybridus*. Aplicações de 125,0 g ha⁻¹ de fomesafen a intervalos menores que 12 horas entre a última irrigação e sua aplicação e/ou em solo com teor de água maior que 0,15 cm³ cm⁻³ não afetaram a eficácia do herbicida sobre *A. hybridus*.

Palavras-chave: inibidores de Protox, déficit hídrico, planta daninha.

ABSTRACT - A greenhouse experiment was carried out to evaluate the efficacy of fomesafen in controlling *Amaranthus hybridus* grown under different soil humidity levels and to determine the lowest level of soil humidity failing to prevent this herbicide's effectiveness in controlling this species. The experimental design was arranged in randomized blocks with a 5 x 5 factorial scheme. The treatments consisted of five intervals between the last irrigation and herbicide application (0, 6, 12, 24 and 48 hrs) and five fomesafen doses (0.0, 62.5, 125.0, 250.0 and 375.0 g ha⁻¹). When the plants reached the four-leaf pair stage, 10 mm of simulated rain were applied. At the end of the rain simulation period, the herbicide was applied using a pressurized backpack sprayer with CO₂, with 120 L ha⁻¹ of spray volume. On days 5, 22, 29 and 43 after application, the control was evaluated using a visual scale as well as plant height (cm) and on day 43, dry weight of the root and aerial part was assessed. Satisfactory control levels were obtained for a 375.0 g ha⁻¹ fomesafen dose, regardless of the time interval between the last irrigation and herbicide application or soil moisture content; Fomesafen sprays of 250.0 g ha⁻¹ at intervals shorter than 24 hrs between the last irrigation and herbicide application and/or in soils with water

¹ Recebido para publicação em 19.10.2006 e na forma revisada em 4.1.2008.

² Mestrando em Fitossanidade, UFPel, Pelotas-RS, 96.010-900; ³ Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju-SE, 49.025-040 <procopio@cpac.embrapa.br>; ⁴ Acadêmico de Engenharia Agrônômica, UFPel; ⁵ Prof., Dep. de Solos, UFPel; ⁶ Prof. Dep. de Estatística da UFRGS, 90.040-060, Porto Alegre-RS; ⁷ Pesquisador, Embrapa Trigo, Passo Fundo-RS, 99.001-970. ⁸ Eng^o-Agr^o, Dep. de Fitossanidade, UFPel; ⁹ Professor, Dep. de Fitossanidade, UFPel.



contents higher than $0.12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ did not affect herbicide efficacy in controlling *A. hybridus*. Fomesafen applications of 125.0 g ha^{-1} at time intervals shorter than 12 hrs between the last irrigation and herbicide application and/or in soils with water contents higher than $0.15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ did not affect herbicide efficacy in controlling *A. hybridus*.

Keywords: Prototox inhibitors, water deficit, weed.

INTRODUÇÃO

O gênero *Amaranthus* (fam. Amaranthaceae) possui cerca de 60 espécies; algumas são cultivadas, e outras, invasoras competindo com as culturas, como *Amaranthus viridis*, *Amaranthus spinosus*, *Amaranthus retroflexus* e *Amaranthus hybridus* (Maluf, 1999). A espécie *A. hybridus*, conhecida como caruru ou caruru-roxo, é uma planta daninha, cujo centro de origem encontra-se no continente americano, do Canadá até a Argentina, com presença também na África, Ásia e Oceania. No Brasil, ocorre em todos os Estados, com maior concentração em regiões agrícolas (Kissmann & Groth, 1999). Em relação à constituição da cutícula de *A. hybridus*, esta espécie apresenta ceras epicuticulares formadas basicamente por substâncias hidrofílicas (álcoois e ésteres) (Monqueiro et al., 2004).

Fomesafen é um herbicida do grupo químico dos difeniléteres que inibe a enzima protoporfirinogênio oxidase, causando alteração no processo da fotossíntese pela formação de radicais superóxidos nos cloroplastos. É um herbicida de contato, seletivo, com alto kow e, no Brasil, está registrado para controle de plantas daninhas de folhas largas em pós-emergência na cultura da soja e do feijão (Rodrigues & Almeida, 2005).

A eficácia de um herbicida depende de diversos fatores, dentre os quais as características físico-químicas e a dose aplicada, a espécie a ser controlada (características estruturais próprias), o estágio de desenvolvimento e a biologia da planta daninha, as técnicas de aplicação, a umidade do solo e os fatores ambientais no momento da aplicação dos herbicidas, como temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar e ventos (Victoria Filho, 1985; Procópio et al., 2003).

A absorção de glufosinate por plantas de *Amaranthus rudis*, *Amaranthus palmeri* e *Amaranthus retroflexus*, crescendo em temperaturas durante o dia/noite de 21/16, 26/21 e 31/26 °C e umidade relativa de 35% e 90% não foi afetada (Coetzer et al., 2001); entretanto, a translocação de glufosinate foi maior em plantas que cresceram a 90% de umidade relativa do que a 35%. Esse fenômeno coincide com o maior controle das espécies de *Amaranthus* em altos níveis de umidade relativa do ar. Por meio desses resultados, os autores relataram que a umidade relativa tem maior efeito do que a temperatura sobre a toxicidade de glufosinate nas espécies de *Amaranthus*.

Condições de temperatura influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas, por afetarem diretamente a taxa das reações físicas, químicas e bioquímicas. A temperatura também influencia a transpiração e afeta a condição de água da planta, a hidratação da cutícula e a absorção mineral. A absorção e translocação de herbicidas foliares aumentam com o incremento da temperatura (Caseley & Coupland, 1985). Duke & Hunt (1977) atribuíram a baixa translocação do glyphosate em *Agropyron repens* a baixas temperaturas (< 7 °C). Pline & Hatzios (1999) constataram que a absorção de ^{14}C -glufosinato foi significativamente maior a 25 °C do que a 15 °C. Coetzer et al. (1999) verificaram que *Amaranthus palmeri*, *Amaranthus retroflexus* e *Amaranthus rudis* foram mais bem controlados pelo herbicida glufosinate quando submetidos a regimes de altas temperaturas.

A eficácia de herbicidas aplicados sobre plantas que se desenvolvem em condições de déficit hídrico é reduzida, devido à baixa absorção e translocação do produto. Levene & Owen (1995) observaram redução na absorção de ^{14}C -bentazon quando aplicado sobre plantas de *Xanthium strumarium* e *Abutilon theophrasti* em



estresse hídrico. Segundo esses autores, as plantas em estresse hídrico apresentaram folhas com orientação mais verticalizada do que as plantas não-estressadas. Essa orientação vertical das folhas poderia potencialmente reduzir a exposição da área foliar e, conseqüentemente, diminuir a retenção das gotas pulverizadas. Dickson et al. (1990) relataram que plantas de *Avena sativa* não-irrigadas por até 14 dias após pulverização de 0,25 kg ha⁻¹ de fluazifop-p-butil ou 0,18 kg ha⁻¹ de glyphosate demonstraram maior tolerância aos herbicidas do que plantas irrigadas normalmente. O controle de *Digitaria sanguinalis* com 30 g ha⁻¹ de haloxyfop-methyl foi de 92% para plantas não-estressadas e 8% para aquelas em estresse hídrico, enquanto o controle de *Sorghum halepense* tratado com 25 g ha⁻¹ de haloxyfop-methyl foi de 92% para plantas não-estressadas e 12% para aquelas em déficit hídrico (Peregoy et al., 1990). A absorção de 2,4-D foi fortemente reduzida em condições de estresse hídrico, sendo o influxo foliar desse herbicida maior em plantas não-estressadas (Kogan & Bayer, 1996).

Objetivou-se neste trabalho avaliar a eficácia do herbicida fomesafen no controle de *Amaranthus hybridus* que se desenvolve em solo com diferentes teores de umidade, determinando qual o menor teor de água do solo que não prejudica a ação desse herbicida no controle dessa espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação localizada no campus da Universidade

Federal de Pelotas (UFPel), em Capão do Leão, RS, no ano 2004/2005.

Vasos com capacidade para 1 dm³ foram preenchidos com solo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico anteriormente analisado química, física e granulometricamente (Tabela 1). A calagem e a adubação do solo foram baseadas na análise físico-química e de acordo com as recomendações técnicas para a cultura da soja (ROLAS, 2004). Utilizou-se a espécie de planta daninha caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*), que possui baixa densidade de cera epicuticular na cutícula de suas folhas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 5, com quatro repetições, envolvendo cinco doses do herbicida de rota de penetração lipofílica – fomesafen (0,0, 62,5, 125,0, 250,0 e 375,0 g ha⁻¹) e cinco intervalos entre a última irrigação das plantas e a aplicação do herbicida (0, 6, 12, 24 e 48 horas).

Preenchidos os vasos, realizou-se a semeadura da planta daninha. Após emergência das plantas foi realizado desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso. Nesse mesmo período, coletaram-se três amostras de solo em anéis inox de aproximadamente 50 cm³, para determinação da curva de retenção de água, segundo metodologia descrita por Klute (1986), utilizando o modelo de ajuste proposto por van Genuchten (1980). Quando as plantas atingiram o estágio de quatro pares de folhas, foi realizada aplicação de 10 mm de água (simulação de chuva), conforme a época prevista no tratamento, utilizando um pulverizador pressurizado com CO₂ munido de uma barra com quatro pontas de pulverização do tipo cone cheio

Tabela 1 - Análise físico-química do solo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico utilizado no experimento. Capão do Leão, RS, 2004

Análise granulométrica (%)								
Argila		Silte		Areia		Classificação textural		
20,28		31,79		47,93		Franca		
Análise química								
pH	IND SMP	MO	P	K	Na	Al	Ca	Mg
		---- % ----	----- mg kg ⁻¹ -----			----- meq 100 mL ⁻¹ -----		
4,7	5,5	2,4	8,2	80,0	13,0	1,6	2,6	1,0

Análises realizadas nos Laboratórios de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da UFPel, segundo metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA (1997).



110-02. Após simulação de chuva, as plantas não mais receberam água até o momento da aplicação do herbicida. Posteriormente, à espera dos intervalos, o herbicida foi aplicado em pós-emergência, utilizando-se um pulverizador pressurizado com CO₂, com barra contendo uma ponta de pulverização do tipo leque 110-015, resultando em volume de calda equivalente a 120 L ha⁻¹.

Desde o início do período de simulação de chuva até o momento da aplicação, foram monitoradas, durante o dia e a noite, a temperatura e a umidade relativa do ar, utilizando um termoigrômetro digital (Figura 1).

Ao término dos períodos de simulação de chuva e antes da aplicação do herbicida, foi realizada a coleta de cinco amostras de solo em cada intervalo, para determinação da umidade pelo método da estufa (Embrapa, 1997). A partir dos teores de água obtidos em cada intervalo, determinou-se o seu correspondente potencial mátrico, explicitando ψ da equação de Genuchten, conforme a seguir:

$$\psi = \frac{\left\{ \left[\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right]^{1/m} - 1 \right\}^{1/n}}{\alpha}$$

em que:

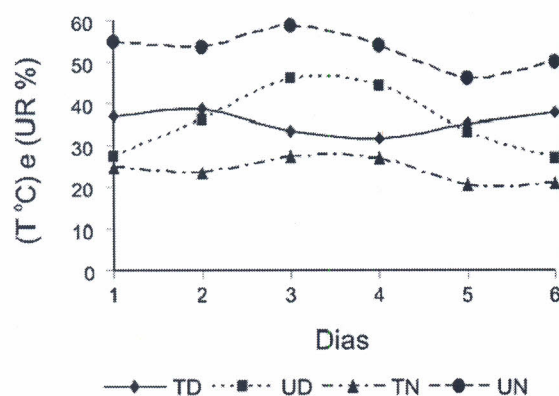


Figura 1 - Média da temperatura e umidade relativa do ar durante o dia (TD, UD) e a noite (TN, UN) no interior da casa de vegetação, desde o período de início da irrigação até a aplicação do herbicida.

θ = umidade volumétrica saturada (cm³ cm⁻³);

θ_r = parâmetro de ajuste (cm³ cm⁻³);

ψ = potencial mátrico em cm de coluna de água; e

α , m e n = parâmetros de ajuste referentes às características do solo, determinados de forma empírica.

Aos 5, 22, 29 e 43 dias após aplicação (DAA) do herbicida, realizou-se a avaliação da eficácia no controle, visualmente, por meio de escala percentual, variando de 0 a 100%, indicando ausência de controle e morte de todas as plantas, respectivamente. Aos 43 dias após aplicação (DAA), foram quantificadas também a massa seca das raízes e a da parte aérea das plantas, após coleta e secagem do material vegetal em estufa a 70 ± 0,2 °C por 72 h.

Depois da coleta e tabulação dos dados, estes foram submetidos à análise de variância. A avaliação dos efeitos significativos foi realizada por análise de regressão, sendo os coeficientes testados pelo teste t a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da variância demonstrou que nas avaliações de controle de *Amaranthus hybridus* houve interação significativa entre as doses de fomesafen e o intervalo entre a simulação de chuva e a aplicação do herbicida aos 22, 29 e 75 DAA, indicando que o intervalo de chuva antes da aplicação do herbicida influenciou o seu desempenho. Aos 43 DAA, houve efeito de dose e intervalo, sem relação de dependência entre eles.

Os resultados da eficiência de controle de *A. hybridus* em diferentes intervalos entre a chuva simulada e a aplicação do herbicida, em função de diferentes doses de fomesafen, podem ser observados na Figura 2 e na Tabela 2. Aos 5 DAA de fomesafen, as plantas de *A. hybridus* apresentaram elevada injúria, e a dose mais efetiva foi de 375,0 g ha⁻¹. Avaliando concomitantemente o intervalo entre a simulação de chuva e a aplicação do herbicida, observou-se que, a partir da dose de 250,0 g ha⁻¹ de fomesafen aplicada nos intervalos entre 0 e 24 horas, o controle foi superior a 54% (Figura 2a e Tabela 2). Segundo Sherman et al. (1991), os herbicidas inibidores da Protox



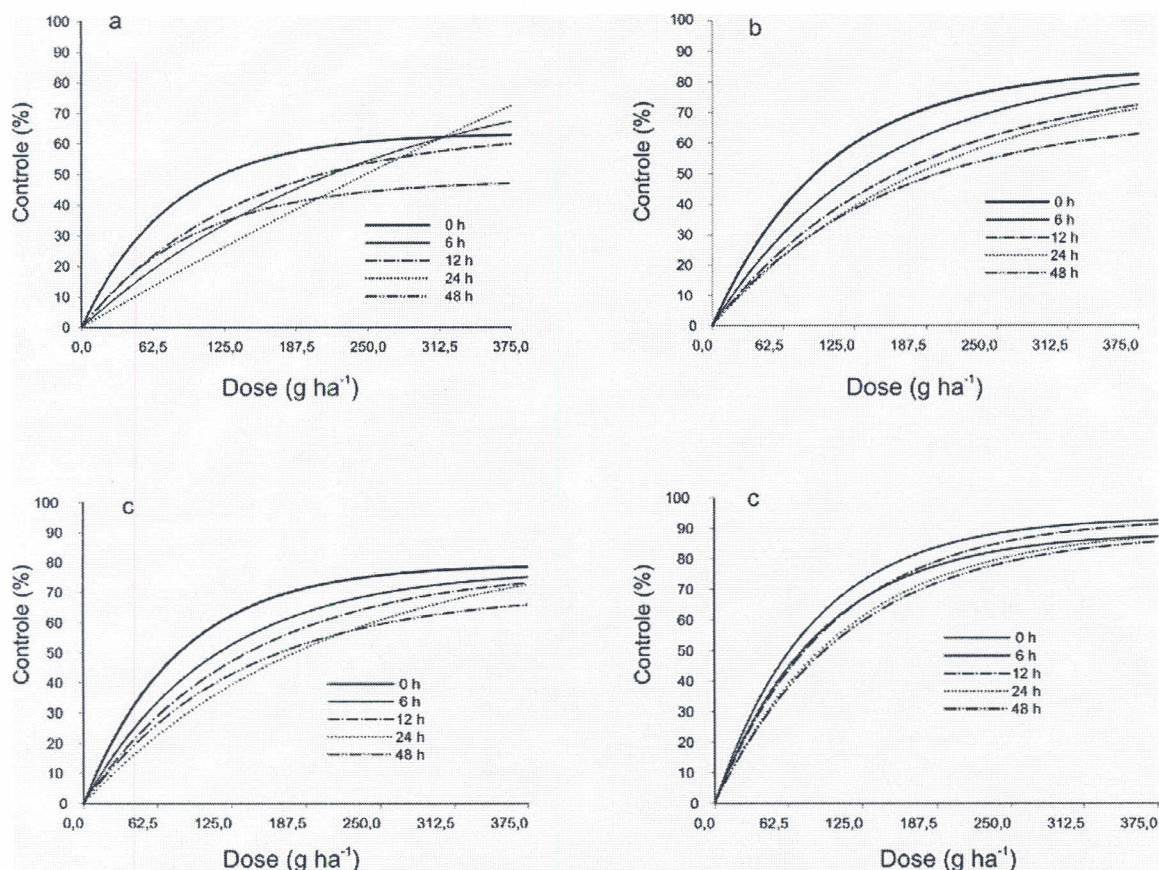


Figura 2 - Controle de *Amaranthus hybridus* em cinco intervalos (horas) entre a última irrigação e a aplicação de diferentes doses de fomesafen, aos 5 (a), 22 (b), 29 (c) e 43 (d) dias após pulverização do herbicida. Capão do Leão-RS.

ocasionam necrose foliar após quatro a seis horas de luz solar em aplicações em pós-emergência. Na avaliação seguinte (22 DAA), a aplicação de 250,0 g ha⁻¹ de fomesafen proporcionou controle superior a 55% em todos os intervalos, apresentando controle maior quando o herbicida foi pulverizado a intervalos mais próximos da simulação de chuva. Com aumentos crescentes na dose de aplicação do herbicida, aumentou o controle, sendo, para a dose de 375,0 g ha⁻¹, superior a 62,7%, independentemente do intervalo, mostrando, nos intervalos de 0 e 6 horas entre a simulação de chuva e aplicação do herbicida, controle de 82,3 e 79,0%, respectivamente (Figura 2b e Tabela 2). Na terceira época de avaliação (29 DAA), o comportamento do controle de *A. hybridus* assemelhou-se ao dos 22 DAA (Figura 2c e Tabela 2).



Por meio da análise da Figura 2d, observa-se que, com o aumento da dose de fomesafen, ocorreu maior controle de *Amaranthus hybridus*, o qual foi crescente ao longo das avaliações, atingindo aos 43 DAA 79,2 a 89,1% na dose de 250,0 g ha⁻¹ e 85,0 a 92,7% na dose de 375,0 g ha⁻¹, independentemente do intervalo. Mayo et al. (1995) observaram controle de 90,0 e 96,0% de *Amaranthus retroflexus* para os herbicidas acifluorfen (420,0 g ha⁻¹) e lactofen (220,0 g ha⁻¹), respectivamente, quando pulverizados 28 dias após semeadura da planta daninha.

No presente estudo, o herbicida foi aplicado quando essas plantas apresentavam cinco a seis pares de folhas. Esse fato pode ter sido responsável pelo não-controle total de *A. hybridus* na maior dose aplicada do

Tabela 2 - Equações das curvas de regressão relacionando o controle de *Amaranthus hybridus* em função da dose de fomesafen (g ha⁻¹) em cinco intervalos entre a última irrigação e a aplicação, aos 5, 22, 29 e 43 dias após pulverização do herbicida

Intervalo (h)	Equação	R ² (%)
5 dias		
0	$\hat{y} = 63,2875 * (1 - \exp(-0,0127 * x))$	99
6	$\hat{y} = 87,2529 * (1 - \exp(-0,0039 * x))$	96
12	$\hat{y} = 63,9906 * (1 - \exp(-0,0073 * x))$	93
24	$\hat{y} = 301,6405 * (1 - \exp(-0,0007 * x))$	99
48	$\hat{y} = 48,0842 * (1 - \exp(-0,0102 * x))$	99
22 dias		
0	$\hat{y} = 84,3715 * (1 - \exp(-0,0099 * x))$	97
6	$\hat{y} = 85,2988 * (1 - \exp(-0,0070 * x))$	98
12	$\hat{y} = 81,0202 * (1 - \exp(-0,0059 * x))$	99
24	$\hat{y} = 83,5856 * (1 - \exp(-0,0051 * x))$	99
48	$\hat{y} = 68,5164 * (1 - \exp(-0,0066 * x))$	99
29 dias		
0	$\hat{y} = 79,4601 * (1 - \exp(-0,0123 * x))$	99
6	$\hat{y} = 77,8385 * (1 - \exp(-0,0090 * x))$	98
12	$\hat{y} = 78,0583 * (1 - \exp(-0,0074 * x))$	99
24	$\hat{y} = 86,7811 * (1 - \exp(-0,0048 * x))$	98
48	$\hat{y} = 70,1187 * (1 - \exp(-0,0076 * x))$	98
43 dias		
0	$\hat{y} = 93,7368 * (1 - \exp(-0,0120 * x))$	99
6	$\hat{y} = 88,6655 * (1 - \exp(-0,0112 * x))$	99
12	$\hat{y} = 93,6206 * (1 - \exp(-0,0100 * x))$	99
24	$\hat{y} = 90,1357 * (1 - \exp(-0,0091 * x))$	100
48	$\hat{y} = 88,7675 * (1 - \exp(-0,0089 * x))$	99

herbicida. Mayo et al. (1995) observaram que, quando os herbicidas inibidores da Protox – acifluorfen (420,0 g ha⁻¹) e lactofen (220,0 g ha⁻¹) – foram pulverizados sobre plantas de *Amaranthus retroflexus* com 8-12, 18-22 e 28-32 cm de altura, houve redução na percentagem de controle da planta daninha, atingindo para acifluorfen 99,0, 85,0 e 81,0% e, para lactofen, 86,0, 53,0 e 49,0% de controle, respectivamente. Outra justificativa seria a baixa umidade relativa no interior da casa de vegetação e as altas temperaturas (Figura 1), as quais poderiam afetar a absorção do herbicida. Ramsey et al. (2002) relataram que a redução na absorção de glufosinato de amônio em folhas de *Avena fatua* mantidas em regimes de 40% de umidade relativa foi devido à rápida secagem das gotículas pulverizadas, reduzindo a penetração na cutícula.

Analisando o efeito do intervalo de chuva (horas) antes da aplicação do herbicida, verificou-se que ele influenciou o seu desempenho. Para cada período de simulação de chuva anterior à aplicação do herbicida, definiu-se o intervalo em horas; para cada intervalo, estabeleceu-se correspondência com teor de água no solo e o respectivo potencial matricial de água (Tabela 3). O potencial mátrico de água no solo representa a energia com que a água se encontra nele retida e comanda todos os processos de transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera. No intervalo de 48 horas, o solo apresentava umidade baixa no momento da aplicação de fomesafen, o que corresponde a potencial de água no solo abaixo do Ponto de Murcha Permanente (PMP) (Tabela 3). Nesse ponto, o conteúdo de água no solo fica retido a um potencial tão elevado, que a maioria das plantas não consegue extrair água do solo e entra em PMP. Embora o teor de água no solo estivesse abaixo do PMP, as plantas não apresentavam sintomas de perda de turgescência; possivelmente, elas apresentavam reservas, as quais se mantiveram sem demonstrar sinais visíveis de déficit hídrico, ou, como se trata de uma espécie invasora, voltada à sobrevivência em condições adversas, ela pode ter a capacidade de extrair moléculas de água fortemente retidas.

Aos 5 DAA de 125,0 g ha⁻¹ de fomesafen, o controle de *Amaranthus hybridus* foi de 43,8% no intervalo de 0 h (Figura 3a e Tabela 4) e 50,7% de controle para teor de água no solo de 0,22 cm³ cm⁻³ (Figura 4a e Tabela 5). Com o aumento do intervalo entre a simulação de chuva e a aplicação de 125,0 g ha⁻¹ do herbicida, ocorreu redução no controle da planta daninha, atingindo 22,0 e 25,0% para o intervalo de 48 h

Tabela 3 - Teor de água no solo determinado no momento da aplicação do herbicida e o respectivo potencial mátrico obtido pela equação de Genuchten (1980)

Intervalo (horas)	Umidade (cm ³ cm ⁻³)	Potencial (-KPa)
0	0,22	19,8
6	0,17	81,0
12	0,15	187,6
24	0,12	842,4
48	0,10	<PMP*

Teores de água inferiores ao ponto de murcha permanente.



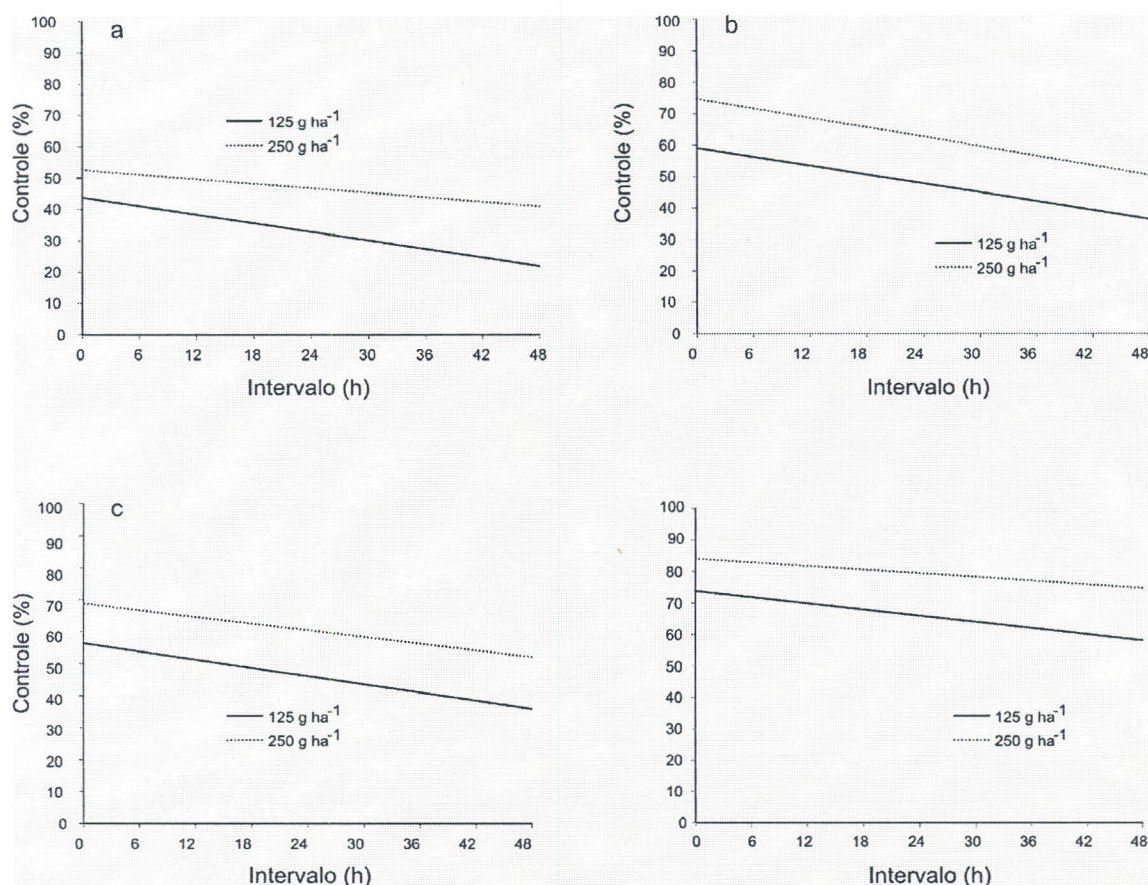


Figura 3 - Controle de *Amaranthus hybridus* aos 5 (a), 22 (b), 29 (c) e 43 (d) dias após aplicação de duas doses de fomesafen em função do intervalo entre a última irrigação e a pulverização do herbicida. Capão do Leão-RS.

e teor de água no solo de 0,1 cm³ cm⁻³, respectivamente. Com o aumento da dose de pulverização de fomesafen para 250,0 g ha⁻¹, o controle de *A. hybridus* aumentou para 52,5 e 57,9% para intervalo de 0 h e teor de água no solo de 0,22 cm³ cm⁻³, respectivamente. Entretanto, à medida que aumentou o intervalo para 48 h, o controle foi de 41,0%. Neste mesmo intervalo, com teor de água no solo de 0,1 cm³ cm⁻³, o controle foi de 44,0%. Na segunda época de avaliação (22 DAA), a aplicação de 125,0 g ha⁻¹ de fomesafen proporcionou controle de 59,0%, reduzindo para 36,5% quando este foi pulverizado 48 horas após a chuva simulada (Figura 3b e Tabela 4).

Quando analisado o efeito do teor de água no solo em cada intervalo sobre a eficácia do

herbicida, observa-se que a pulverização de 125,0 g ha⁻¹ de fomesafen proporcionou controle de 66,8% no intervalo com maior teor de água no solo (0,22 cm³ cm⁻³), reduzindo o controle conforme diminuía o teor de água, atingindo 35,6% em 0,1 cm³ cm⁻³ (Figura 4b e Tabela 5). Com o aumento da dose de pulverização de fomesafen para 250,0 g ha⁻¹, o controle de *A. hybridus* aumentou, atingindo 74,7% para o menor intervalo, reduzindo para 50,5% para o intervalo de 48 horas. Para esta mesma dose de fomesafen, o intervalo com teor de água no solo de 0,22 cm³ cm⁻³ foi o que promoveu maior controle da planta daninha, reduzindo conforme o teor de água no solo diminuía.

Com o passar das avaliações, o controle de *A. hybridus* foi aumentando, atingindo, aos



Tabela 4 - Equações das curvas de regressão relacionando controle de *Amaranthus hybridus* aos 5, 22, 29 e 43 dias após a aplicação de diferentes doses de fomesafen em função de intervalo entre a última irrigação e a pulverização do herbicida

Dose (g ha ⁻¹)	Equação	R ² (%)
5 dias		
0,0	$\bar{y} = 0$	-
62,5	$\bar{y} = 23$	-
125,0	$\hat{y} = 43,7750 + (-0,4542 * x)$	61
250,0	$\hat{y} = 52,5500 + (-0,2417 * x)$	61
375,0	$y = 62$	-
22 dias		
0,0	$\bar{y} = 0$	-
62,5	$\bar{y} = 25$	-
125,0	$\hat{y} = 59,0750 + (-0,4708 * x)$	62
250,0	$\hat{y} = 74,6750 + (-0,5042 * x)$	90
375,0	$y = 73$	-
29 dias		
0,0	$y = 0$	-
62,5	$y = 31$	-
125,0	$\hat{y} = 58,0750 + (-0,4375 * x)$	63
250,0	$\hat{y} = 70,8500 + (-0,3583 * x)$	82
375,0	$y = 74$	-
43 dias		
0,0	$\bar{y} = 0$	-
62,5	$\bar{y} = 42$	-
125,0	$\hat{y} = 73,9250 + (-0,3292 * x)$	70
250,0	$\hat{y} = 84,0500 + (-0,1917 * x)$	68
375,0	$y = 90$	-

43 DAA de 125,0 g ha⁻¹ de fomesafen, controle de 73,9 e 58,1% para os intervalos de 0 e 48 horas após simulação de 10 mm de chuva, respectivamente (Figura 3d e Tabela 4). O teor de água no solo de 20,5% foi o que proporcionou a melhor eficácia de 125,0 g ha⁻¹ de fomesafen no controle de *A. hybridus*, reduzindo seu desempenho à medida que diminuiu a umidade do solo (Figura 4d e Tabela 5). Para a dose de 250,0 g ha⁻¹ de fomesafen, obteve-se controle superior a 80% nos intervalos mais próximos da aplicação, diminuindo com o aumento do intervalo. Nesta mesma dose, observou-se controle superior a 80% para os maiores teores de água no solo e de 75,4% no teor de água no solo de 0,1 cm³ cm⁻³.

Esses dados indicam relação entre o intervalo de chuva simulada e a aplicação de fomesafen; com o aumento do intervalo, ocorreu redução no controle de *Amaranthus hybridus*. O mesmo efeito pode ser observado quando analisado o teor de água no solo e seu respectivo potencial de água (Tabela 3). Possivelmente, esse baixo teor de água no solo, associado a alta temperatura e baixa umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação, gerou estresse nas plantas, fazendo com que estas respondessem fisiológica e morfológicamente a estes fatores, por meio do fechamento dos estômatos e de maior produção de cera epicuticular, evitando assim perdas de água por transpiração.

Há relatos na literatura de que a baixa densidade de estômatos e a maior quantidade de ceras seriam barreiras potenciais à penetração de herbicidas (Procópio et al., 2003). Com relação a *A. hybridus*, as ceras são constituídas basicamente por substâncias hidrofílicas (álcoois e ésteres), formando pequenos grânulos na superfície da folha; embora haja grande quantidade de estômatos, não apresentam tricomas e glândulas (Monqueiro et al., 2004). Outra explicação para a redução na eficiência de controle de fomesafen é a menor hidratação da cutícula das folhas de plantas que se desenvolvem em déficit hídrico. O conteúdo de água foliar de *Avena fatua* que se desenvolve a 29% da capacidade de campo foi de 65,0%, comparado com 90,0% para plantas mantidas a 100% da capacidade de campo (Adkins et al., 1998). Outra possibilidade é que o estresse hídrico tenha reduzido a área foliar, reduzindo assim a quantidade total de fomesafen interceptado e absorvido por plantas de *A. hybridus*. Adkins et al. (1998) observaram que plantas de *Avena fatua* que se desenvolvem a 29% da capacidade de campo apresentaram 50 cm² planta⁻¹ de área foliar, comparado com 200 cm² planta⁻¹ para 100% da capacidade de campo. Os autores relatam a menor área foliar de *A. fatua* como um dos fatores responsáveis pela menor eficácia de glyphosate. A fitotoxicidade de fenoxaprop-ethyl foi fortemente reduzida por longo período de estresse hídrico em *Avena fatua* (Xie et al., 1993).

Quando fomesafen foi aplicado a intervalos mais próximos da simulação de chuva, os quais apresentaram maior teor de umidade do solo,



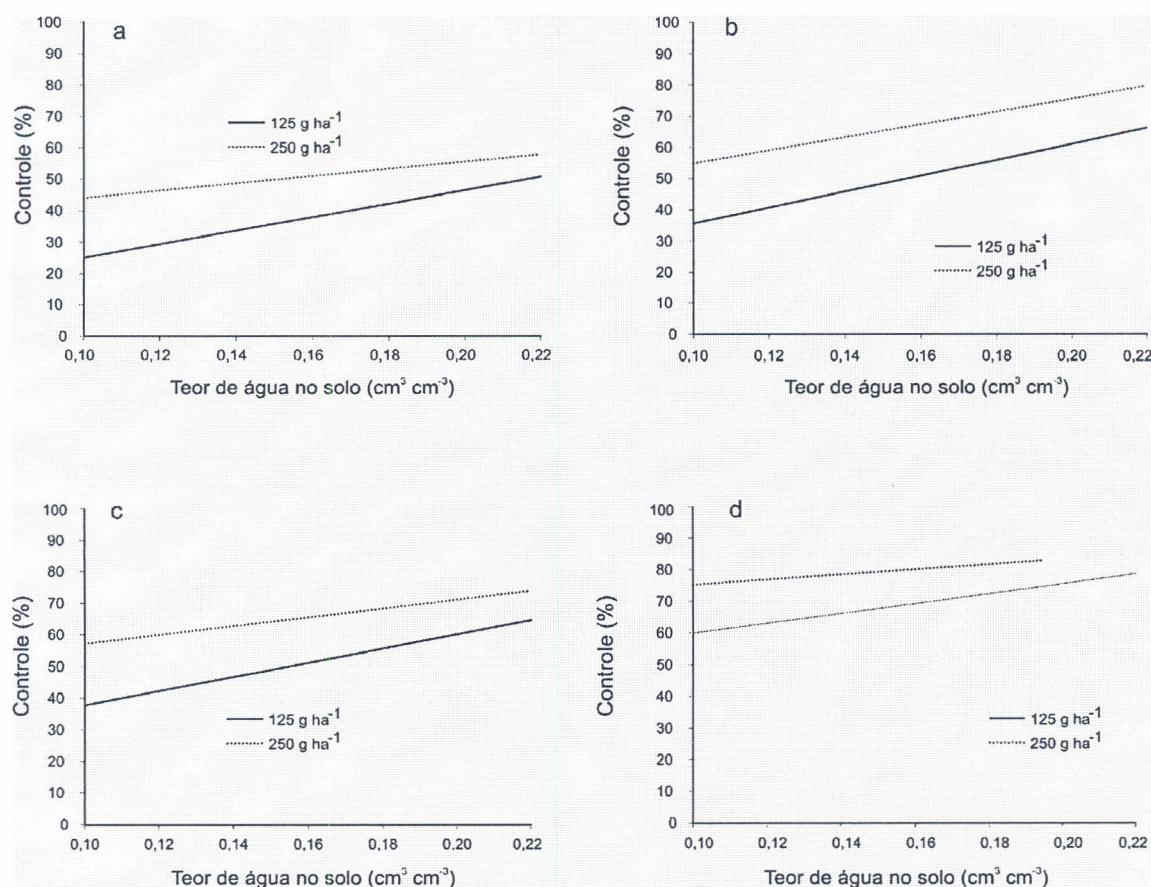


Figura 4 - Controle de *Amaranthus hybridus* aos 5 (a), 22 (b), 29 (c) e 43 (d) dias após a aplicação de duas doses de fomesafen em função do teor de água no solo no momento da pulverização do herbicida. Capão do Leão-RS.

a eficiência do controle de *A. hybridus* aumentou. Possivelmente, a chuva simulada tenha removido a camada cerosa e promovido maior hidratação da cutícula, facilitando assim a absorção de fomesafen. Em condições adequadas de umidade do solo, mais de 90% das plantas de *Avena fatua* tratadas com 140,0 g ha⁻¹ de fenoxaprop-ethyl foram controladas; entretanto, menos de 70% das plantas em estresse hídrico foram controladas (Xie et al., 1993).

Quanto às avaliações de massa seca de raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA), não houve interação significativa entre doses do herbicida fomesafen e intervalo de chuva, ocorrendo aos 43 (DAA) apenas efeito de dose e intervalo, sem relação entre eles.

Com relação à massa seca de raízes de *Amaranthus hybridus*, observou-se que ocorreu

redução desta com o incremento nas doses do herbicida; a dose de 375,0 g ha⁻¹ de fomesafen foi a que apresentou a melhor eficácia, ou seja, proporcionou maior redução na MSR. Os menores valores de MSR foram observados nos intervalos de 0 e 6 h, onde apresentaram reduções de 69,0 e 74,0%, respectivamente. O intervalo de 48 h foi o que apresentou os maiores valores de MSR e o menor índice de redução desta (43,0%), quando comparado com a testemunha (Figura 5 e Tabela 6).

A massa seca da parte aérea (MSPA) apresentou a mesma tendência da MSR, ou seja, conforme aumentou a dose de fomesafen, a MSPA reduziu; a maior eficácia do herbicida foi obtida quando pulverizado a intervalos mais próximos da simulação de chuva. Os intervalos de 0, 6 e 12 h apresentaram os menores valores



Tabela 5 - Equações das curvas de regressão relacionando controle de *Amaranthus hybridus* aos 5, 22, 29 e 43 dias após aplicação de diferentes doses de fomesafen em função do teor de água no solo no momento da pulverização do herbicida

Dose (g ha ⁻¹)	Equação	R ² %
5 dias		
0,0	$\bar{y} = 0$	-
62,5	$\bar{y} = 23$	-
125,0	$\hat{y} = 3,8387 + (212,9032 \cdot x)$	89
250,0	$\hat{y} = 32,4885 + (115,2074 \cdot x)$	91
375,0	$\bar{y} = 62$	-
22 dias		
0,0	$\bar{y} = 0$	-
62,5	$\bar{y} = 25$	-
125,0	$\hat{y} = 10,2396 + (253,6866 \cdot x)$	85
250,0	$\hat{y} = 34,3594 + (205,5300 \cdot x)$	90
375,0	$\bar{y} = 73$	-
29 dias		
0,0	$\bar{y} = 0$	-
62,5	$\bar{y} = 31$	-
125,0	$\hat{y} = 15,4977 + (223,0415 \cdot x)$	78
250,0	$\hat{y} = 43,1060 + (140,0922 \cdot x)$	76
375,0	$\bar{y} = 74$	-
43 dias		
0,0	$\bar{y} = 0$	-
62,5	$\bar{y} = 42$	-
125,0	$\hat{y} = 44,3594 + (155,5300 \cdot x)$	94
250,0	$\hat{y} = 67,3871 + (79,0323 \cdot x)$	89
375,0	$\bar{y} = 90$	-

de MSPA para a dose de 375,0 g ha⁻¹ de fomesafen, e que estes foram os que proporcionaram as maiores reduções da MSPA. As menores reduções de MSPA foram observadas no intervalo de 48 h, onde, para a dose de 375,0 g ha⁻¹ de fomesafen, a redução na MSPA foi de 49,0% (Figura 5 e Tabela 6).

Observa-se, nas Figuras 9 e 10, que o intervalo entre chuvas e a umidade do solo influenciaram o desempenho do fomesafen. A pulverização de 375,0 g ha⁻¹ de fomesafen proporcionou as menores reduções de MSR, as quais foram observadas quando o herbicida foi aplicado a intervalos mais próximos da simulação de chuva. O aumento do intervalo proporcionou menor redução da MSR, ou seja, a

Tabela 6 - Equações das curvas de regressão relacionando massa seca das raízes (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA) de *Amaranthus hybridus* em função da dose de fomesafen (g ha⁻¹) em cinco intervalos entre a última irrigação e a aplicação, aos 43 dias após pulverização do herbicida

Intervalo (h)	Equação	R ² (%)
MSR		
0	$\hat{y} = (1,4225 \cdot 164,0958) / (164,0958 + x)$	91
6	$\hat{y} = (1,4062 \cdot 129,1660) / (129,1660 + x)$	99
12	$\hat{y} = (1,4903 \cdot 271,7235) / (271,7235 + x)$	91
24	$\hat{y} = (1,5792 \cdot 252,2441) / (252,2441 + x)$	95
48	$\hat{y} = (1,5012 \cdot 499,7305) / (499,7305 + x)$	73
MSPA		
0	$\hat{y} = (3,6543 \cdot 110,7752) / (110,7752 + x)$	99
6	$\hat{y} = (4,0175 \cdot 146,2220) / (146,2220 + x)$	97
12	$\hat{y} = (4,5722 \cdot 156,8560) / (156,8560 + x)$	97
24	$\hat{y} = (3,9071 \cdot 225,3783) / (225,3783 + x)$	93
48	$\hat{y} = (3,5277 \cdot 391,8607) / (391,8607 + x)$	84

eficácia do herbicida reduziu (Figura 6 e Tabela 7). Para esta mesma dose, quando analisado o efeito do teor de água no solo e seu respectivo potencial matricial em cada intervalo (Tabela 3), observa-se que ela apresentou maior efeito, ocasionando maior redução da MSR. Conforme diminuía o teor de água no solo, a eficácia do herbicida foi reduzida (Figura 7 e Tabela 8). Com redução da dose de pulverização de fomesafen para 125,0 g ha⁻¹, observou-se menor redução na MSR; o herbicida foi mais eficiente nos menores intervalos, reduzindo sua eficácia com o aumento do intervalo (Figura 6 e Tabela 7). Esse mesmo comportamento pode ser observado quando analisado o efeito do teor de água no solo e seu respectivo potencial matricial em cada intervalo (Figura 7 e Tabela 8).

A massa seca da parte aérea apresentou o mesmo comportamento da MSR, ou seja, com o aumento do intervalo, ocorreu incremento na MSPA; as maiores reduções foram observadas quando fomesafen foi pulverizado a intervalos mais próximos da simulação de chuva, principalmente na dose de 250,0 g ha⁻¹, a qual proporcionou o maior diferencial de redução na MSPA. Quando analisado o efeito das condições hídricas do solo, este se assemelhou ao verificado na MSR (Figura 7 e Tabela 8).

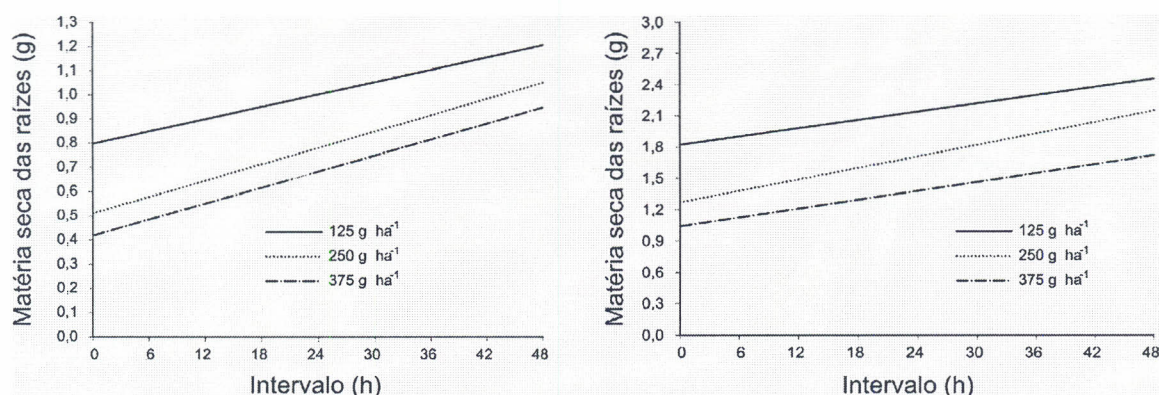


Figura 6 - Massa seca de raízes e da parte aérea de *Amaranthus hybridus* aos 43 dias após aplicação de três doses de fomesafen, em função do intervalo entre a última irrigação e a pulverização do herbicida. Capão do Leão-RS.

Tabela 7 - Equações das curvas de regressão relacionando massa seca das raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA) de *Amaranthus hybridus* aos 43 dias após aplicação de diferentes doses de fomesafen, em função do intervalo entre a última irrigação e a pulverização do herbicida

Dose (g ha ⁻¹)	Equação	R ² (%)
MSR		
0,0	$\bar{y} = 1,5$	-
62,5	$\bar{y} = 1,13$	-
125,0	$\hat{y} = 0,7977 + (0,0085 * x)$	69
250,0	$\hat{y} = 0,5102 + (0,0112 * x)$	95
375,0	$\hat{y} = 0,4187 + (0,0110 * x)$	97
MSPA		
0,0	$\bar{y} = 3,93$	-
62,5	$\bar{y} = 2,97$	-
125,0	$\hat{y} = 1,8210 + (0,0132 * x)$	74
250,0	$\hat{y} = 1,2703 + (0,0182 * x)$	72
375,0	$\hat{y} = 1,0397 + (0,0141 * x)$	77

Tabela 8 - Equações das curvas de regressão relacionando massa seca das raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA) de *Amaranthus hybridus* aos 43 dias após aplicação de diferentes doses de fomesafen, em função do teor de água no solo no momento da pulverização do herbicida

Dose (g ha ⁻¹)	Equação	R ² (%)
MSR		
0,0	$\bar{y} = 1,5$	-
62,5	$\bar{y} = 1,13$	-
125,0	$\hat{y} = 1,5410 + (-3,6774 * x)$	77
250,0	$\hat{y} = 1,3218 + (-4,0115 * x)$	74
375,0	$\hat{y} = 1,2597 + (-4,2350 * x)$	88
MSPA		
0,0	$\bar{y} = 3,93$	-
62,5	$\bar{y} = 2,97$	-
125,0	$\hat{y} = 3,6055 + (-8,7995 * x)$	62
250,0	$\hat{y} = 3,2286 + (-10,1751 * x)$	71
375,0	$\hat{y} = 2,2035 + (-5,9839 * x)$	84

Esses dados indicam que o baixo teor de água no solo gerou estresse nas plantas, afetando a atividade do herbicida. Resultados semelhantes foram encontrados por Xie et al. (1993), os quais relatam que o herbicida fenoxaprop-ethyl (150,0 g ha⁻¹) reduziu em cerca de 70% a massa seca da parte aérea em plantas não-estressadas de duas linhagens (SH 430 e NA 51) de *Avena fatua*; entretanto, quando fenoxaprop-ethyl foi pulverizado sobre plantas estressadas, a redução obtida foi menor que 30%.

O teor de água no solo influencia a eficiência do herbicida fomesafen sobre plantas de *A. hybridus*, porém o nível de influência varia com a dose aplicada. Em razão disso, a aplicação de 375,0 g ha⁻¹ de fomesafen proporcionou controle satisfatório de *A. hybridus*, independentemente do intervalo entre a última irrigação e a aplicação do herbicida ou do teor de umidade do solo, na faixa avaliada. Para aplicação de 250,0 g ha⁻¹, é necessário intervalos menores que 24 horas entre a última irrigação



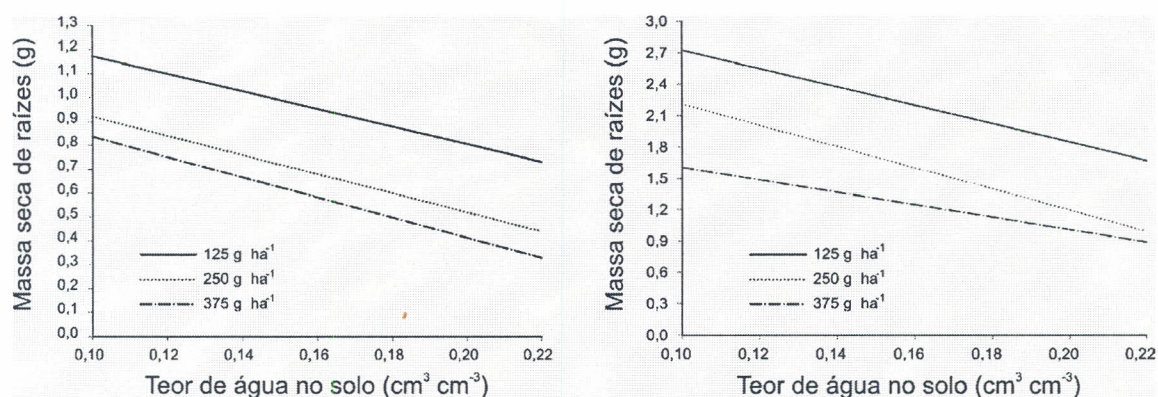


Figura 7 - Massa seca de raízes e da parte aérea de *Amaranthus hybridus* aos 43 dias após aplicação de três doses de fomesafen, em função do teor de água no solo no momento da pulverização do herbicida. Capão do Leão-RS.

e sua aplicação e/ou em solo com teor de água maior que $0,12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a fim de que a eficácia do herbicida sobre *A. hybridus* não seja comprometida. Nas pulverizações de $125,0 \text{ g ha}^{-1}$ de fomesafen, há necessidade de intervalos menores que 12 horas entre a última irrigação e sua aplicação e/ou em solo com teor de água maior que $0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para que a eficácia do herbicida sobre *A. hybridus* não sofra prejuízos.

LITERATURA CITADA

- ADKINS, S. W. et al. Influence of environmental factors on glyphosate efficacy when applied to *Avena fatua* or *Urochloa panicoides*. *Weed Res.*, v. 38, p. 129-138, 1998.
- CASELEY, J. C.; COUPLAND, D. Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake, movement and activity. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Eds.). *The herbicide glyphosate*. Butterworth and London, 1985. p. 92-123.
- COETZER, E.; AL KHATIB, K.; ANDERSON, M. D. Glufosinate efficacy, absorption and translocation in pigweeds (*Amaranthus* spp.) as affected by temperature. *Weed Sci. Soc. Am.*, v. 39, p. 12, 1999.
- COETZER, E.; AL-KHATIB, K.; LOUGHIN, T. M. Glufosinate efficacy, absorption and translocation in amaranth as affected by relative humidity and temperature. *Weed Sci.*, v. 49, p. 8-13, 2001.
- COUPLAND, D. The influence of light, temperature, and humidity on the translocation and activity of glyphosate in *Elymus repens* (*Agropyron repens*). *Weed Res.*, v. 23, p. 347-355, 1983.
- DICKSON, R. L. et al. Effect of water stress nitrogen and gibberellic acid on fluazifop and glyphosate activity on oats (*Avena sativa*). *Weed Sci.*, v. 38, p. 54-61, 1990.
- DUKE, W. B.; HUNT, J. F. Fall applications of glyphosate for quackgrass control. *Proc. Northeastern Weed Sci. Soc.*, v. 31, p. 91, 1977.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p.
- KISSMANN, K. G.; GROTH, D. *Plantas infestantes e nocivas*. São Paulo: Basf, 1999. 978 p.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. *Methods of soil analysis*. Madison: Soil Society of Agronomy, 1986. p. 635-660.
- KOGAN, M.; BAYER, D. E. Herbicide uptake as influenced by plant water status. *Pestic. Biochem. Physiol.*, v. 56, p. 174-182, 1996.
- LEVENE, B. C.; OWEN, M. D. K. Effect of moisture stress and leaf age on bentazon absorption in common cocklebur (*Xanthium strumarium*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Sci.*, v. 43, p. 7-12, 1995.
- MALUF, A. M. Competição intra-específica entre *Amaranthus hybridus* L. e *Amaranthus viridis* L. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 34, p. 1319-1325, 1999.
- MAYO, C. M. et al. Differential control of four *Amaranthus* species by six postemergence herbicides in soybean (*Glycine max*). *Weed Technol.*, v. 9, p. 141-147, 1995.



MONQUERO, P. A. et al. Caracterização da superfície foliar e das ceras epicuticulares em *Commelina benghalensis*, *Ipomoea grandifolia* e *Amaranthus hybridus*. **Planta Daninha**, v. 22, p. 203-210, 2004.

PEREGOY, R. et al. Moisture stress effects on the absorption, translocation, and metabolism of haloxyfop in johnsongrass (*Sorghum halepense*) and large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*). **Weed Sci.**, v. 38, p. 331, 1990.

PLINE, W. A.; HATZIOS, K. K. Temperature effects on the response of liberty-link and roundup-ready soybeans to glufosinate and glyphosate treatments. **Proc. Southern Weed Sci. Soc.**, v. 52, p. 172-173, 1999.

PROCÓPIO, S. O. et al. **Anatomia foliar de plantas daninhas do Brasil**. Viçosa, MG: Edição dos Autores, 2003. v. 1. 118 p.

RAMSEY, R. J. L.; STEPHENSON, G. R.; HALL, J. C. Effect of relative humidity on the uptake, translocation, and efficacy of glufosinate ammonium in wild oat (*Avena fatua*). **Pestic. Biochem. Physiol.**, v. 73, p. 1-8, 2002.

REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO E TECIDO VEGETAL – ROLAS. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400 p.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina: Edição dos Autores, 2005. 592 p.

SHERMAN, T. D. et al. Physiological basis for differential sensitivities of plant species to protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. **Plant Physiol.**, v. 97, p. 280-287, 1991.

van GENUCHTEN, M. Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 44, p. 892-898, 1990.

VICTORIA FILHO, R. Fatores que influenciam a absorção foliar dos herbicidas. **Inf. Agropec.**, v. 11, p. 31-37, 1985.

XIE, H. S.; HSIAO, A. I.; QUICK, W. A. Influence of water deficit on the phytotoxicity of imazethabens and fenoxaprop among five wild oat populations. **Environ. Exper. Bot.**, v. 33, p. 283-291, 1993.

